

# **Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 29 524.0

**Anmeldetag:** 30. Juni 2003

**Anmelder/Inhaber:** DaimlerChrysler AG,  
70567 Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Selbstzündende Brennkraftmaschine

**IPC:** F 02 B, F 02 M, F 02 F

BEST AVAILABLE COPY

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 08. Juli 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
 Im Auftrag

Schäfer

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

DaimlerChrysler AG

Aifan

30.06.2003

Selbstzündende Brennkraftmaschine

Die Erfindung betrifft eine selbstzündende Brennkraftmaschine, bei der Kraftstoff mittels einer Einspritzdüse mit mehreren Einspritzbohrungen in einen Brennraum eingespritzt wird.

5

Bei direkteinspritzenden Brennkraftmaschinen mit Selbstzündung werden zur Gestaltung einer lastabhängigen Kraftstoffeinspritzung Einspritzdüsen eingesetzt, bei denen die Gestaltung des Einspritzverlaufs durch einen entsprechenden Aufbau der Einspritzdüse gesteuert wird. Hierdurch soll die Gemischaufbereitung im Brennraum und somit die Emissionsbildung im Abgas verbessert werden. Weiterhin kann die Funktionsweise einer nachgeschalteten Abgasnachbehandlung optimiert werden.

15 Aus der DE 19953932 A1 ist ein Verfahren bekannt, bei dem eine kombinierte homogen/heterogene Betriebsweise eines Verbrennungsmotors für die Erzielung mittlerer und höherer Leistungen vorgeschlagen wird. Dabei sollen mit einer Einspritzstrategie sowohl eine frühe homogene Gemischbildung im  
20 Kompressionshub als auch eine darauffolgende heterogene Gemischbildung um den oberen Totpunkt ermöglicht werden, wobei die Kraftstoffeinspritzung bei der homogenen Gemischbildung mit einem geringeren Einspritzdruck als bei der heterogenen Gemischbildung erfolgt, um ein Auftragen von Kraftstoff auf  
25 die kalten Brennraumwände zu vermeiden. Es hat sich dennoch gezeigt, dass trotz der oben vorgeschlagenen Maßnahmen weiterhin erhöhte Abgasemissionen auftreten. Es müssen daher weitere Maßnahmen getroffen werden, mit denen die Abgasemissionen minimiert werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Brennkraftmaschine mit Selbstzündung bereitzustellen, mit der die Gemischbildung sowie die Verbrennung im Brennraum verbessert werden. Dies wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

Die erfindungsgemäße Brennkraftmaschine zeichnet sich dadurch aus, dass Kraftstoff mittels einer eine Düsennadel aufweisenden Einspritzdüse mit mehreren Einspritzbohrungen in einen zwischen einem Kolben und einem Zylinderkopf gebildeten Brennraum in Form mehrerer Kraftstoffstrahlen als eine Haupteinspritzung und gegebenenfalls als eine Vor- und/oder Nacheinspritzung eingespritzt wird, wobei die Einspritzbohrungen der Einspritzdüse in mindestens zwei unterschiedlichen, getrennt ansteuerbaren Lochreihen angeordnet sind, und ein Betriebshub der Düsennadel mittels der Steuereinheit in Abhängigkeit von einer Kolbenstellung ( $\varphi$ ) und/oder von einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine (1) einstellbar ist.

20

Demnach kann eine gezielte Einspritzung des Kraftstoffes zur Veränderung der Strahllänge im Brennraum in Abhängigkeit von den Kolbenstellung im Zylinder vorgenommen werden, wodurch die Vermischung des eingespritzten Kraftstoffs mit der Brennraumluft insbesondere während der Vor- und Nacheinspritzung vor Erreichen der Zylinderwand stattfindet. Eine Benetzung der Zylinderwand mit Kraftstoff kann hierdurch weitgehend vermieden werden.

30 Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung weisen die Lochreihen der Einspritzdüse unterschiedliche Spritzlochkegelwinkel auf. Dadurch kann der Kraftstoff, insbesondere bei einer Vor- bzw. bei einer Nacheinspritzung unter einem steileren Einspritzwinkel als während der Haupteinspritzung in den Brennraum

eingebraucht werden. Somit kann die Strahllänge im Brennraum in Abhängigkeit von der Entfernung zwischen der Einspritzdüse und dem Kolben angepasst werden, so dass eine Veränderung der Strahllänge zur Optimierung der Gemischbildung hierdurch gewährleistet bzw. ermöglicht wird.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung sind während der Haupteinspritzung eine erste Lochreihe der Einspritzdüse und während der Vor- und/oder der Nacheinspritzung eine zweite Lochreihe aktiviert, wobei der Spritzlochkegelwinkel der ersten Lochreihe größer ist als der Spritzlochkegelwinkel der zweiten Lochreihe. Dabei wird der Kraftstoff während der Haupteinspritzung um einen oberen Totpunkt mit einem flachen Spritzlochkegelwinkel durch die erste Lochreihe, vorzugsweise zwischen  $140^\circ$  und  $160^\circ$  eingespritzt. Dagegen wird der Kraftstoff bei einer frühen und/oder einer späten Kraftstoffeinspritzung unter einem steilen Einsspritzkegelwinkel, z.B. zwischen  $60^\circ$  und  $160^\circ$ , durch die vorzugsweise unterhalb der ersten Lochreihe angeordnete zweite Lochreihe in den Brennraum eingespritzt. Hierdurch wird im Brennraum eine optimale Strahllänge während eines Einspritzvorgangs ermöglicht. Erfindungsgemäß umfasst ein Einspritzvorgang je nach Betriebspunkt eine Haupteinspritzung und bei Bedarf eine Vor- und/oder einer Nacheinspritzung.

25

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist ein Kraftstoffeinspritzdruck in Abhängigkeit von der Kolbenstellung ( $\varphi$ ) und/oder einem Betriebspunkt einstellbar. Hierdurch kann weiterhin die Strahllänge des in den Brennraum eingebrachten Kraftstoffes beeinflusst werden.

30

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist ein Betriebshub der Düsennadel der Einspritzdüse derart einstellbar, dass eine instabile kavitierende Strömung in den Ein-

spritzbohrungen der Einspritzdüse gebildet wird. Vorzugsweise wird der Kraftstoff während der Vor- und/oder der Nacheinspritzung in Form von kleinen Teilmengen getaktet vorgenommen. Demnach kann durch die variable Einstellung des Betriebshubs der Düsennadel der Einspritzdüse bei jeder in den Brennraum eingespritzten Teilmenge der Vor- bzw. der Nacheinspritzung die Zerstäubung des jeweiligen Kraftstoffstrahls im Brennraum verstärkt werden, so dass eine Kraftstoffwandanlagerung im Zylinder, die z.B. bei kleinerem Gasdruck und niedrigerer Temperatur im Zylinder stetig steigt, minimiert wird. Somit wird erfindungsgemäß die Reichweite jeder Teilmenge bis zu einer Brennraumwand begrenzt sowie ein verstärktes Aufbrechen und Verdampfen des Einspritzstrahls bzw. der Teilmenge, insbesondere mit zunehmend späterem Einspritzbeginn erzielt.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist im Brennraum der Brennkraftmaschine eine Drallbewegung einstellbar. Vorzugsweise wird eine erzeugte Kraftstoffwolke eines Kraftstoffstrahls (17) mittels der im Brennraum eingestellten Drallbewegung, insbesondere während einer getaktet vorgenommenen Kraftstoffeinspritzung, versetzt oder seitlich verschoben. Hierdurch kann, z.B. die gebildete Kraftstoffwolke einer Teilmenge bei der Durchdringung des Brennraums, insbesondere in Richtung einer Zylinderwand seitlich verschoben werden. Die Kraftstoffstrahlen bzw. die Kraftstofftröpfchen werden während deren Ausbreitung somit von der Zylinderwand weg bewegt bzw. weiter entfernt, so dass sie sich mit der Brennraumluft insbesondere während der Vor- und Nacheinspritzung vor Erreichen der Zylinderwand vermischen oder verdampfen. Somit wird eine Kraftstoffwandanlagerung im Zylinder weitgehend verhindert. Ist im Brennraum keine Drallbewegung vorhanden, dann breitet sich der Kraftstoffstrahl entlang einer Spritzlochmittelachse aus und trifft die Zylinderwand

aufgrund der kurzen Weglänge bis zur Zylinderwand. Weiterhin bilden dabei die vorangehenden bzw. die zuerst aus der Einspritzdüse austretenden Strahlpakete einen Strahlkanal aus, der beschleunigtes Eindringen der nachfolgenden Strahlpakete bzw. Teilmengen durch einen Windschatteneffekt zur Folge hat, sodass in Abwesenheit von einer Drallbewegung im Brennraum ein Auftreffen von Kraftstoff auf die Zylinderwand wahrscheinlicher wird.

10 In einer Ausgestaltung der Erfindung ist der Betriebshub der Düsennadel derart eingestellt, dass innerhalb der Einspritzdüse ein effektiver Strömungsquerschnitt zwischen der Düsennadel und einem Düsennadelsitz etwa das 0,8 bis 1,2-fache eines effektiven Strömungsquerschnittes der Summe aller Einspritzbohrungen beträgt. Dadurch kann eine gewünschte Drosselwirkung im Sitz der Düsennadel gezielt erreicht werden, die eine instabile kavitierende Strömung in den Einspritzbohrungen der Einspritzdüse bewirkt.

20 In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung weist der Kolben eine Kolbenmulde auf, die tellerförmig ausgebildet ist, wobei sich ein Vorsprung aus der Mitte der Kolbenmulde in Richtung der Einspritzdüse erstreckt. Durch die tellerartige Grundform treten in der Kolbenmulde keine enge Radian an der Oberfläche oder Querschnittssprünge im Kolbenboden auf, so dass im Betrieb der Brennkraftmaschine, falls auf die Mulde Kraftstofftröpfchen auftreffen, diese schnell verdampfen.

30 Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung weist die Kolbenmulde vom Kolbenboden aus zunächst einen flachen Einlauf mit einer geringen Krümmung und ab dem Bereich der maximalen Muldentiefe eine bis in den Kolbenmuldenvorsprung reichende stärkere Krümmung auf. Dies verhindert eine Kraftstoffanlagerung im Bereich des Kolbenbodens und erzielt somit

eine Minimierung von Abgasemissionen. Vorzugsweise weist der Kolbenmuldenvorsprung einen Kegelwinkel in einem Bereich von 90° bis 160° auf.

- 5 Weitere Vorteile ergeben sich aus der folgenden Zeichnungsbeschreibung. In der Zeichnung sind Ausführungsbeispiele der Erfindung dargestellt. Es zeigen:

- 10 Fig. 1 einen schematischen Querschnitt durch eine Brennkraftmaschine mit Selbstzündung,
- Fig. 2 einen schematischen Querschnitt durch eine Einspritzdüse mit zwei unterschiedlich ansteuerbaren Lochreihen mit unterschiedlichen Spritzlochkegelwinkeln,
- 15 Fig. 3 eine schematische Darstellung von eingespritzten Kraftstoffstrahlen durch eine Einspritzdüse nach Fig. 2,
- 20 Fig. 4 eine schematische Anordnung der Einspritzdüse nach Fig. 2 oberhalb einer Kolbenmulde der Brennkraftmaschine gemäß Fig. 1,
- 25 Fig. 5 eine schematische Darstellung einer Querschnittsansicht der Kolbenmulde gemäß Fig. 4,
- Fig. 6 eine schematische Darstellung von getakteten Einspritzstrahlen mit und ohne Drall,
- 30 Fig. 7 ein Diagramm zum Verlauf der getakteten Kraftstoffeinspritzung nach Fig. 6,

Fig. 8 eine schematische Darstellung einer Drosselwirkung im Düsenloch einer Mehrlochdüse zur Bildung einer instabilen kavitierenden Strömung,

5 Fig. 9 eine schematische Darstellung einer Kraftstoffeinspritzung in den Brennraum der Brennkraftmaschine nach Fig. 1 mit unterschiedlichen Spritzlochkegelwinkeln.

10 Fig. 1 zeigt eine Brennkraftmaschine 1, bei der eine Pleuelstange 4 angetrieben wird. Zwischen dem Pleuelstange 4 und einem Pleuellagerbolzen 5 über eine Pleuelstange 4 angetrieben wird. Zwischen dem Pleuelstange 5 und einem Pleuellagerbolzen 10 wird im Zylinder 9 ein Brennraum 8 gebildet, der eine in den Pleuellagerbolzen 7 eingelassene Pleuellagermulde 6 umfasst.

Bei der Drehung einer Pleuelstange 3 der Pleuelstange 2 auf einem Pleuelkreis 11 im Uhrzeigersinn verkleinert sich der Brennraum 8, wobei die in ihm eingeschlossene Luft verdichtet wird. Der Pleuelwechsel im Brennraum 8 erfolgt über nicht dargestellte Pleuelwechselventile und Pleuelkanäle im Pleuellagerkopf 10.

25 Mit dem Erreichen eines oberen Pleuelpunktes 12 der Pleuelstange 3, nachfolgend mit OT bezeichnet, ist das Ende der Pleuelverdichtung erreicht. Die aktuelle Lage des Pleuelbolzens 5 zum Pleuellagerkopf 10 wird durch den Pleuelwinkel  $\phi$  in Bezug auf den oberen Pleuelpunkt 12 bestimmt.

30 Eine Pleuelstange 13 mit mehreren Pleuelstangebohrungen 21 ist im Pleuellagerkopf 10 zentral angeordnet. Die Pleuelstangebohrungen sind jeweils um einen Winkel von  $30^\circ$  bis  $80^\circ$  zur Pleuelstangenachse geneigt. Der Pleuelstangekegelwinkel beträgt ca.  $60^\circ$  bis  $160^\circ$ , vorzugsweise  $80^\circ$  bis  $140^\circ$ . Es kann sich prinzipiell um eine



konventionelle und damit kostengünstige Lochdüse vom Typ Sitzloch, Mini-Sackloch oder Sackloch handeln. Die Einspritzdüse 13 wird über eine Signalleitung 15 und einen Aktuator 14, beispielsweise einen Piezo-Aktuator, von einer elektronischen Steuereinheit 16, der Motorsteuerung, angesteuert. Die aus der Einspritzdüse austretenden Einspritzstrahlen sind mit 17 bezeichnet.

Der Kraftstoff wird von einer Einspritzpumpe 18 in mehreren Druckstufen zur Verfügung gestellt, wobei ein Steuerventil 20, zweckmäßigerweise ein elektronisch ansteuerbares Magnetventil, den jeweiligen maximalen Druck in der Kraftstoffleitung 19 begrenzt. Bevorzugt wird mittels eines geeigneten Einspritzsystems der Einspritzdruck angepasst. Dabei kann ein nadelhubgesteuertes Einspritzsystem mit einer entsprechenden Druckmodulation verwendet werden.

Erfindungsgemäß weist die Einspritzdüse 13 vier bis vierzehn Einspritzbohrungen 21 auf, welche vorzugsweise in einer oder zwei Lochreihen über dem Umfang verteilt angeordnet sind. Vorzugsweise ist die Einspritzdüse 13 als eine innenöffnende Koaxial-Variodüse ausgebildet, die zwei unterschiedlich ansteuerbare Lochreihen  $L_{R1}$  und  $L_{R2}$  aufweist. Vorzugsweise wird eine Einspritzdüse verwendet, welche mit variabel schaltbaren Einspritzlochreihen gemäß Fig. 2 als eine Koaxial-Variodüse der Firma Bosch in Verbindung mit einer direkten Piezoansteuerung ausgebildet ist.

Die erste Lochreihe  $L_{R1}$  weist vorzugsweise einen Spritzlochkegelwinkel  $\alpha_1$  zwischen  $140^\circ$  und  $180^\circ$  auf. Die dient zur Darstellung eines konventionellen Magerbetriebs und ist oberhalb der zweiten Lochreihe  $L_{R2}$  gemäß Fig. 2 angeordnet. Die zweite Lochreihe weist einen kleineren Spritzlochkegelwinkel  $\alpha_2$ , vorzugsweise zwischen  $60^\circ$  und  $140^\circ$  auf. Sie dient insbesonde-

re zur Gestaltung einer Fettverbrennung mit einer Nacheinspritzung und gegebenenfalls einer Voreinspritzung. Durch die Ansteuerung der zweiten Lochreihe  $L_{R2}$  mit dem kleineren Einspritzkegelwinkel  $\alpha_2$  wird eine freie Strahllänge z.B. bei einer späten Nacheinspritzung, beispielsweise bei  $70^\circ\text{KW}$  bis  $90^\circ\text{KW}$  nach OT gemäß Fig. 3, rechtes Bild, verlängert. Somit trifft der Kraftstoffstrahl 17 nicht auf die Zylinderwand sondern wird in Richtung der Kolbenmulde 6 bzw. auf den Kolbenboden 7 gerichtet.

10

Die Einspritzdüse 13 weist eine in Fig. 8 dargestellte Düsen-  
nadel 13a auf, die mit einem nicht dargestellten Steuerelement verbunden ist. Durch die Ansteuerung der Düsen-  
nadel 13a durch das Steuerelement wird sie bewegt, um die Einspritzdüse  
13 zu öffnen bzw. zu schließen. Dabei wird ein bestimmter Betriebs-  
hub  $h$  während einer Betriebsstellung betriebspunktabhängig und/oder in Abhängigkeit von dem Kurbelwinkel  $\phi$  eingestellt. Ein Kraftstoffdurchfluss kann dann in Abhängigkeit vom Betriebs-  
hub  $h$  und einer Öffnungszeit bzw. einer Taktdauer sowie vom eingestellten Kraftstoffeinspritzdruck bestimmt  
bzw. verändert werden.

Gemäß Fig. 4 ist die Einspritzdüse 13 oberhalb einer im Kolbenboden 7 eingelassenen Kolbenmulde 6 angeordnet, die im  
Brennraum 8 der Brennkraftmaschine 1 mittig angeordnet ist. Die Kolbenmulde 6 ist tellerförmig gestaltet, wobei sich in der Mitte der Kolbenmulde 6 ein Vorsprung als eine Kolbenmuldenspitze 6a befindet. Die Kolbenmuldenspitze 6a ist durch einen Muldenboden 6b umrandet, wobei die Muldenspitze 6a in  
Richtung der Einspritzdüse 13 hinausragt. Durch die tellerförmige Ausbildung der Kolbenmulde 6 ist gewährleistet, dass in einem konventionellen Magerbetrieb mit einer Haupteinspritzung um den oberen Totpunkt OT gemäß Fig. 3, linkes

Bild, keine Überfettung des Gemisches in der Kolbenmulde auftritt.

Die Kolbenmulde 6 weist gemäß Fig. 5 am Rand als Übergang zum  
5 Kolbenboden 7 einen Radius  $R_1$  auf, der bevorzugt zwischen  
drei und sieben mm beträgt. Die äußeren Bereiche des Mulden-  
bodens 6b sind mit einem Kugelradius  $R_2$  zwischen 40 mm und 50  
mm ausgebildet. Der Übergang von der Kolbenmuldenspitze 6a  
zum Kolbenmuldenboden 6b weist eine Krümmung mit einem Radius  
10  $R_3$  von etwa 16 bis 24 mm auf. Die Kolbenmuldenspitze 6a be-  
findet sich in etwa gegenüber der Einspritzdüse 13. Die Tiefe  
der Kolbenmulde 6 nimmt vom Rand der Kolbenmulde 6 bis hin  
zum Kolbenmuldenboden 6b zu. Die Kolbenmuldenspitze 6a er-  
streckt sich gegenüber der Einspritzdüse 13 derart, dass sie  
15 annähernd unterhalb des Kolbenbodens 7 angeordnet bleibt. Der  
Abstand  $d_1$  zwischen dem oberen Punkt der Kolbenmuldenspitze  
6a und dem Kolbenboden beträgt etwa 3 mm bis 10 mm, wobei  $d_1$   
bevorzugt zwischen 5 mm und 8 mm ausgebildet sein kann. Die  
Muldenbodentiefe  $d_2$  beträgt etwa 15 mm bis 20 mm. Die teller-  
20 artige Muldenrundform weist im Randbereich der Kolbenmulde 6  
einen abgerundeten Übergang zum Kolbenboden, um Ansammlungen  
des Kraftstoffs zu vermeiden.

Die Kolbenmuldenspitze 6a ist kegelartig mit einem Muldenke-  
25 gelwinkel  $\beta$  im Bereich von  $90^\circ$  bis  $130^\circ$  ausgebildet und ist  
mit einer abgerundeten Spitze mit einem Radius  $R_4$  von etwa 3  
bis 7 mm ausgeführt. Der Kraftstoffkegelwinkel  $\alpha$  und die Lage  
der Kolbenmuldenspitze 6a wirken derart zusammen, dass die  
Ausbreitung der Kraftstoffstrahlen durch die Kolbenmulden-  
30 spitze 6a nicht gestört wird. Somit ist gewährleistet, dass  
die Kraftstoffstrahlen annähernd bei jeder Kolbenstellung im  
Zylinder im Bereich der Kolbenmulde 6 treffen.

Bei der Haupteinspritzung wirkt sich die Kolbenmuldenform sehr vorteilhaft, so dass für die heterogene Verbrennungsphase eine thermische NO-Bildung deutlich vermindert wird, da die Sauerstoffkonzentration durch einen vorangegangenen homogenen Verbrennungsanteil durch die Voreinspritzung reduziert wird. Bei einer späten Kraftstoffnacheinspritzung, z.B. 80° KW nach OT, wird der Kraftstoff unter einem steilen Einspritzwinkel von 60° bis 140° durch die untenliegende Lochreihe  $L_{R2}$  in den Brennraum 8 eingebracht, wodurch sich die freie Strahllänge gemäß Fig. 5 und Fig. 3, rechtes Bild, verlängert.

Werden die Vor- und die Nacheinspritzung getaktet vorgenommen, dann wirkt sich die erfindungsgemäße Brennraumkonfiguration, d.h. die Ausgestaltung der Einspritzdüse 13 sowie der Kolbenmuldenform und deren Anordnung im Brennraum 8, zur Verhinderung einer Benetzung der Brennraumwände mit Kraftstoff sehr positiv aus, da die Einspritzdüse 13 im Bereich einer Zylindermittelachse im Zylinderkopf 10 und die im Kolbenboden 7 angeordnete Kolbenmulde 6 gegenüberliegend angeordnet sind.

Erfindungsgemäß wird die Bildung einer Drallbewegung im Brennraum 8 als eine weitere Maßnahme zur Reduzierung der Benetzung der Brennraumwände mit Kraftstoff vorgesehen, welche sich insbesondere bei getakteter Kraftstoffeinspritzung bei der vorliegenden Brennraumkonfiguration auf den Betrieb der Brennkraftmaschine positiv auswirkt. Liegt im Brennraum 8 kein Drall vor, dann nehmen die eingespritzten Kraftstoffteilmengen eines Kraftstoffstrahls einen entsprechenden Verlauf gemäß Fig. 6, rechtes Bild, wo ein Sektor des Brennraums 8 schematisch dargestellt ist, in dem sich ein getakteter Einspritzstrahl aus einer Einspritzbohrung entlang einer Spritzloch- bzw. Strahlmittelachse 25 in Richtung der Zylinderwand ausbreitet. Gemäß Fig. 7 ist eine Taktfolge darge-

stellt, mit der beispielsweise drei Kraftstoffteilmengen  $T_1$ ,  $T_2$ , und  $T_3$  in den Brennraum eingespritzt werden. Erfindungsgemäß kann die Taktung als eine zwei- bis achtfache Taktung vorgenommen werden.

5

Gemäß Fig. 6, linkes Bild, werden bei getakteter Einspritzung die Flugbahn der einzelnen Kraftstoffteilmengen  $T_{1D}$ ,  $T_{2D}$  und  $T_{3D}$  deutlich von der Strahlmittelachse 25 abgelenkt, wenn die Ladungsbewegung im Brennraum 8 einen Drall aufweist. Dagegen  
10 treffen gemäß Fig. 6, rechtes Bild, die Kraftstoffteilmengen aufgrund der kürzeren Weglänge zur Zylinderwand auf die Brennraumwand auf. Liegt im Brennraum 8 eine Drallbewegung vor, dann verlängert sich die freie Strahllänge bis zur Zylinderwand im Vergleich zum Verlauf der Flugbahn der einzel-  
15 nen Kraftstoffteilmengen  $T_1$ ,  $T_2$  und  $T_3$ , rechtes Bild. Eine Kraftstoffwandanlagerung kann dadurch weitgehend vermieden werden.

Dementsprechend ist es zweckmäßig, zusätzlich einen  
20 zuschaltbaren variablen Drall im Brennraum 8 der Brennkraftmaschine 1 auszubilden, so dass eine Gemischwolke einer Einspritzteilmenge insbesondere bei einer Voreinspritzung und/oder bei einer Nacheinspritzung durch eine angepasste Drallbewegung der Ladung im Brennraum unterstützt und  
25 gleichzeitig die Strahleindringtiefe reduziert wird. Die Strahlkeule bzw. die Gemischwolke eines Einspritztaktes wird demnach durch die Drallströmung so weit gedreht, dass bei einem nachfolgenden Einspritztakt die neu gebildeten Strahlkeulen nicht in die Gemischwolke der vorangegangenen Einspritz-  
30 teilmenge eindringen. Hierdurch werden örtliche Überfettungen sowie die Strahleindringtiefen verringert, wodurch weniger Rußpartikel gebildet werden.

In Fig. 8 ist eine schematische Darstellung der Einspritzdüse 13 vom Typ Sacklochdüse angegeben, wobei sich eine Düse vom Typ Sitzlochdüse verwendet werden kann. In der Einspritzdüse 13 gemäß Fig. 6 ist die Wirkung einer hervorgerufenen instabilen kavitierenden Strömung in einem Düsenloch 21 der Einspritzdüse 13 bei geringem Nadelhub  $h$  der Düsennadel 13a, d. h. bei teilweise geöffneter Einspritzdüse 13, und die dadurch erzielte Wirkung auf einen Ausbreitungswinkel  $\alpha_3$  des Einspritzstrahls 17 dargestellt.

10

Auf der rechten Seite in Fig. 8 ist die Einspritzdüse 13 nur teilweise geöffnet, wodurch eine Drosselung im Düsennadelsitz 22 erzielt wird. Durch diese Drosselung wird im Düsenloch 21 eine turbulente bzw. eine instabile kavitierende Strömung hervorgerufen, die zu einem großen Ausbreitungswinkel  $\alpha_3$  des Kraftstoffstrahls 17 führt. Im Vergleich zu einer voll geöffneten Einspritzdüse mit maximaler Hubeinstellung, wie auf der linken Seite der Fig. 8 dargestellt, ist der Ausbreitungswinkel  $\alpha_3$  durch die instabile kavitierende Strömung größer als ein Ausbreitungswinkel  $\alpha_4$ , der ohne eine solche Strömung bewirkt wird. Die instabile kavitierende Strömung ruft starke Fluktuationen der Düseninnenströmung 23 hervor, welche beim Kraftstoffaustritt aus dem Düsenloch 21 zu einem verstärkten Kraftstoffstrahlzerfall führen und somit zu einem großen Ausbreitungswinkel  $\alpha_3$ .

25

Der Kraftstoffstrahl mit dem Ausbreitungswinkel  $\alpha_3$  breitet sich im Brennraum mit einer intensiven Zerstäubung aus, und bewirkt somit eine bessere Homogenisierung sowie eine schnelle Kraftstoffverdampfung, so dass mehr Kraftstoff in einer Teilmenge der Voreinspritzung oder der Nacheinspritzung ohne eine nennenswerte Brennraumwandbenetzung eingespritzt werden kann. Dagegen wird bei der Einspritzdüse 13 mit der maximalen

30

Hubeinstellung gemäß der linken Seite in Fig. 8 im inneren des Düsenlochs 21 auf der linken Seite eine zweiphasige Strömung 24 hervorgerufen, welche zu einem konventionellen Kraftstoffzerfall führt. Im Vergleich zu einer teilweise geöffneten Einspritzdüse ist der Ausbreitungswinkel  $\alpha_4$  kleiner als der Ausbreitungswinkel  $\alpha_3$ .

Eine gezielte Einstellung einer gewünschten Drosselwirkung im Sitz der Düsennadel kann mit einer geeigneten konstruktiven Maßnahme, z.B. durch einen 2-Federhalter an der Einspritzdüse das Verharren der Düsennadel auf einer Betriebshubstellung, die zwischen der vollständig geschlossenen bzw. geöffneten Position liegt, unterstützt werden. Alternativ kann diese Einstellung über eine mittels Piezostellglied direkt gesteuerte Düsennadel realisiert werden. Durch eine Erzielung einer Drosselwirkung im Einspritzdüsensitz mittels der Einstellung des Betriebshubs  $h$  und die betriebspunkt- und/oder kolbenstellungsabhängige Ansteuerung der Lochreihen wird eine Begrenzung bzw. eine Veränderung der Reichweite der eingespritzten Kraftstoffstrahlen 17 erzielt.

Um einen möglichst großen Ausbreitungswinkel  $\alpha_3$  bei einer teilweise geöffneten Mehrloch-Einspritzdüse zu erzielen, sollte vorzugsweise die Ansteuerung derart erfolgen, dass der effektive Strömungsquerschnitt im Nadelsitz vorzugsweise etwa das 0,8 bis 1,2 -fache eines effektiven Strömungsquerschnittes der Summe aller Querschnitte der Einspritzbohrungen beträgt.

In Fig. 9 ist die Auswirkung einer Wahl kleinerer Spritzlochkegelwinkel, z.B.  $60^\circ$  anstelle  $140^\circ$  dargestellt. Hierdurch wird die freie Strahllänge bei einer späten Nacheinspritzung, z.B.  $70^\circ$  KW bis  $90^\circ$  KW nach OT verlängert. Der Kraftstoff-

strahl wird dann nicht auf die Zylinderwand sondern auf die Kolbenoberfläche bzw. in Richtung der Kolbenmulde gerichtet.

Weitere Maßnahmen zur Optimierung der Gemischbildung beim Betrieb der Brennkraftmaschine 1 können durch eine betriebspunktabhängige Variation einer vorgenommenen Taktung und/oder durch einer Veränderung des Kraftstoffeinspritzdruckes realisiert werden. Beispielsweise wird die Haupteinspritzung in einem Bereich zwischen  $10^{\circ}\text{KW}$  vor OT bis  $40^{\circ}\text{KW}$  nach OT bei einem höheren Einspritzdruck als während der Vor- und der Nacheinspritzung vorgenommen. Dabei wird während der Haupteinspritzung ein größerer Nadelhub  $h$  als bei der Voreinspritzung eingestellt. Die Einspritzung einer zusätzlichen Kraftstoffmenge in Form einer Nacheinspritzung kann insbesondere während einer Fettphase mittels einer 2- bis 8-fachen getakteten Einspritzung im Expansionshub während eines Intervalls von ca.  $20^{\circ}$  bis  $150^{\circ}$  KW nach OT vorgenommen werden. Die einzelnen Einspritzakte für die Einspritzung werden bezüglich Dauer, Einspritzdruck, Nadelhubverlauf und Wechselwirkung mit der Zylinderinnenströmung so angepasst, dass eine bestmögliche Gemischverteilung erzielt wird. Somit wird ein Kraftstoffauftrag auf die Zylinderwand weitgehend verhindert.

Die Nadelhubeinstellung wird während der Nacheinspritzung unterschiedlich vorgenommen, wobei sie vorzugsweise nachfolgend kleiner eingestellt wird. Dabei wird während der Nacheinspritzung bei veränderlichem Nadelhub ein konstanter Kraftstoffeinspritzdruck eingestellt, der vorzugsweise höher als der während der Voreinspritzung und kleiner als der während der Haupteinspritzung ist. Vorzugsweise wird die Taktung während der Nacheinspritzung derart vorgenommen, dass die erste Kraftstoffteilmenge der Nacheinspritzung größer ist als die nachfolgende Kraftstoffteilmenge.



Es ist zweckmäßig, dass während der Vor- und der Nacheinspritzung unterschiedliche Kraftstoffdruck-Änderungsraten eingestellt werden, da sowohl während der Vor- als auch während der Nacheinspritzung im Brennraum 8 unterschiedliche Verbrennungsreaktionen stattfinden, die ungleiche Brennraumdruck- bzw. Temperaturverläufe hervorrufen. Beispielsweise wird ein kombinierter Homogen/Heterogen-Betrieb der Brennkraftmaschine mit 4-fach getakteter Voreinspritzung und ansteigender Taktdauer bei konstantem Einspritzdruck vorgenommen, bei dem die Düsenadel 13a bei einer unteren Hubstellung verharret. Die Haupteinspritzung erfolgt dann bei einem erhöhten Einspritzdruck und einem maximal eingestellten Nadelhub h. Eine Nacheinspritzung mit abnehmender Taktdauer bei konstantem Einspritzdruck wird anschließend eingespritzt. Vorzugsweise wird die Taktung während der Nacheinspritzung derart vorgenommen, dass die erste Kraftstoffteilmenge der Nacheinspritzung größer ist als die nachfolgende Kraftstoffteilmenge.

20

Vorzugsweise beträgt die Gesamteinspritzmenge der Voreinspritzung vorzugsweise, insbesondere bei den o.g. Einspritzstrategien, im unteren Teillastbereich, d.h. bis zu 70% Last, etwa 20% bis 50% der Haupteinspritzmenge und im oberen Lastbereich, d.h. von 70% Last bis zur Vollast, etwa 10% bis 30% der Haupteinspritzmenge. Sie wird dabei so gewählt, dass klopfende Verbrennung sicher vermieden wird. Dieser homogenisierte Kraftstoffanteil verbrennt dann annähernd Ruß- und NOx-frei, erzeugt jedoch bereits einen erheblichen Anteil, der für die NOx-Reduktion am NOx-Speicher-Kat erforderlichen CO-Emission und liefert einen wichtigen Anteil zur Reduzierung des Luftverhältnisses.

30

Durch die erfindungsgemäße Brennraumkonfiguration in Verbindung mit der erfindungsgemäßen Einspritzdüse wird bei einer frühen bzw. späten Kraftstoffeinbringung eine verstärkte Homogenisierung erzielt, so dass ein Kraftstoffauftrag an der Zylinderwand verhindert werden kann. Gleichzeitig wirkt sich die vorgesehene Brennraumform sehr vorteilhaft auf die heterogene Gemischbildung bei der Haupteinspritzung. Ein kombinierter Homogen/Heterogen-Betrieb innerhalb eines Arbeitsspiels kann hierdurch mit einer konventionellen Mehrlochdüse gestaltet werden.

Die vorliegende Brennkraftmaschine 1 eignet sich insbesondere für ein kombiniertes homogen/heterogenes Brennverfahren mit Selbstzündung, so dass eine konventionelle Magerverbrennung, bekannt aus Dieselmotoren, sowie eine Fettverbrennung zur Optimierung einer nachgeschalteten Abgasnachbehandlungsanlage, die insbesondere für magerbetriebene Brennkraftmaschinen ausgelegt ist, durchgeführt werden kann. Die Brennkraftmaschine 1 wird üblicherweise weitgehend in einem Magerbetrieb und bei Bedarf zur Optimierung der nachgeschalteten Abgasreinigungsanlage in einem Fettbetrieb gefahren. Sowohl im Magerbetrieb als auch im Fettbetrieb der Brennkraftmaschine 1 kann die einzubringende Kraftstoffmenge durch eine betriebspunktabhängige Aufteilung als eine Vor- Haupt- und Nacheinspritzmenge in den Brennraum eingebracht werden. Im Betrieb der Brennkraftmaschine 1 werden Maßnahmen zur Vermeidung der Anlagerung von flüssigem Kraftstoff in Verbindung mit einer nach einer Haupteinspritzung vorgesehenen Nacheinspritzung oder mit einer vor der Haupteinspritzung vorgesehenen Voreinspritzung getroffen, so dass ein frühes Vermischen mit der im Brennraum befindlichen Verbrennungsluft stattfindet. Diese Maßnahmen können einzeln oder miteinander kombiniert vorgenommen werden, so dass jede denkbare Kombination dieser Maßnahmen bei Bedarf gewählt werden kann.

DaimlerChrysler AG

Aifan

30.06.2003

Patentansprüche

1. Brennkraftmaschine mit
  - einer Steuereinheit (16) und einem zwischen einem Kolben (5) und einem Zylinderkopf gebildeten Brennraum (8) und einer Kraftstoffeinspritzvorrichtung mit einer Einspritzdüse (13), welche eine Düsennadel (13a) und mehrere Einspritzbohrungen (21) aufweist, wobei
  - mittels der Einspritzdüse Kraftstoff in Form mehrerer Kraftstoffstrahlen (17) als eine Haupteinspritzung und gegebenenfalls als eine Vor- und/oder Nacheinspritzung in den Brennraum (8) eingespritzt wird,
  - die Einspritzbohrungen (21) der Einspritzdüse (13) in mindestens zwei unterschiedlichen, getrennt ansteuerbaren Lochreihen angeordnet sind, und
  - ein Betriebshub der Düsennadel mittels der Steuereinheit in Abhängigkeit von einer Kolbenstellung ( $\varphi$ ) und/oder von einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine (1) einstellbar ist.
2. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lochreihen der Einspritzdüse (13) unterschiedliche Spritzlochkegelwinkel ( $\alpha$ ) aufweisen.
3. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass während der Haupteinspritzung eine erste Lochreihe ( $LR_1$ ) der Einspritzdüse (13) und während der Vor- und/oder der Nacheinspritzung eine zweite Lochreihe ( $LR_2$ ) aktiviert

sind, wobei der Spritzlochkegelwinkel der ersten Lochreihe ( $LR_1$ ) größer ist als der Spritzlochkegelwinkel der zweiten Lochreihe ( $LR_2$ ).

- 5    4. Brennkraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Kraftstoffeinspritzdruck in Abhängigkeit von der Kolbenstellung ( $\phi$ ) und/oder einem Betriebspunkt einstellbar ist.

10

5. Brennkraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Betriebshub der Düsennadel (13a) der Einspritzdüse derart einstellbar ist, dass eine instabile kavitierende Strömung in den Einspritzbohrungen (21) der Einspritzdüse (13) gebildet wird.

15

6. Brennkraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Brennraum eine Drallbewegung einstellbar ist.

20

7. Brennkraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine erzeugte Kraftstoffwolke eines Kraftstoffstrahls (17) mittels der im Brennraum eingestellten Drallbewegung, insbesondere während einer getaktet vorgenommenen Kraftstoffeinspritzung, versetzt oder seitlich verschoben wird.

25

- 30    8. Brennkraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Betriebshub der Düsennadel (13a) der Einspritzdüse (13) derart eingestellt ist, dass innerhalb der Einspritzdüse (13) ein effektiver Strömungsquerschnitt zwi-

schen der Düsennadel (13a) und einem Düsennadelsitz (22) etwa das 0,8 bis 1,2-fache eines effektiven Strömungsquerschnittes der Summe aller Einspritzbohrungen beträgt.

- 5     9. Brennkraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass  
der Spritzlochkegelwinkel zwischen den eingespritzten Kraftstoffstrahlen (17) zwischen 60° und 160° beträgt.
- 10    10. Brennkraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass  
der Betriebshub der Düsennadel (13a) mittels einer Zweifederhalterung, einer piezogesteuerten Düsennadel oder einer Koaxial-Variodüse einstellbar ist.
- 15
11. Brennkraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass  
der Kolben eine Kolbenmulde aufweist, die tellerförmig ausgebildet ist, wobei sich ein Vorsprung aus der Mitte  
20 der Kolbenmulde in Richtung der Einspritzdüse erstreckt.
12. Brennkraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass  
die Kolbenmulde vom Kolbenboden aus zunächst einen flachen Einlauf mit einer geringen Krümmung und ab dem Bereich der maximalen Muldentiefe eine bis in den Kolbenmuldenvorsprung reichende stärkere Krümmung aufweist.
- 25
13. Brennkraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass  
30 der Kolbenmuldenvorsprung einen Kegelwinkel in einem Bereich von 90° bis 140° aufweist.

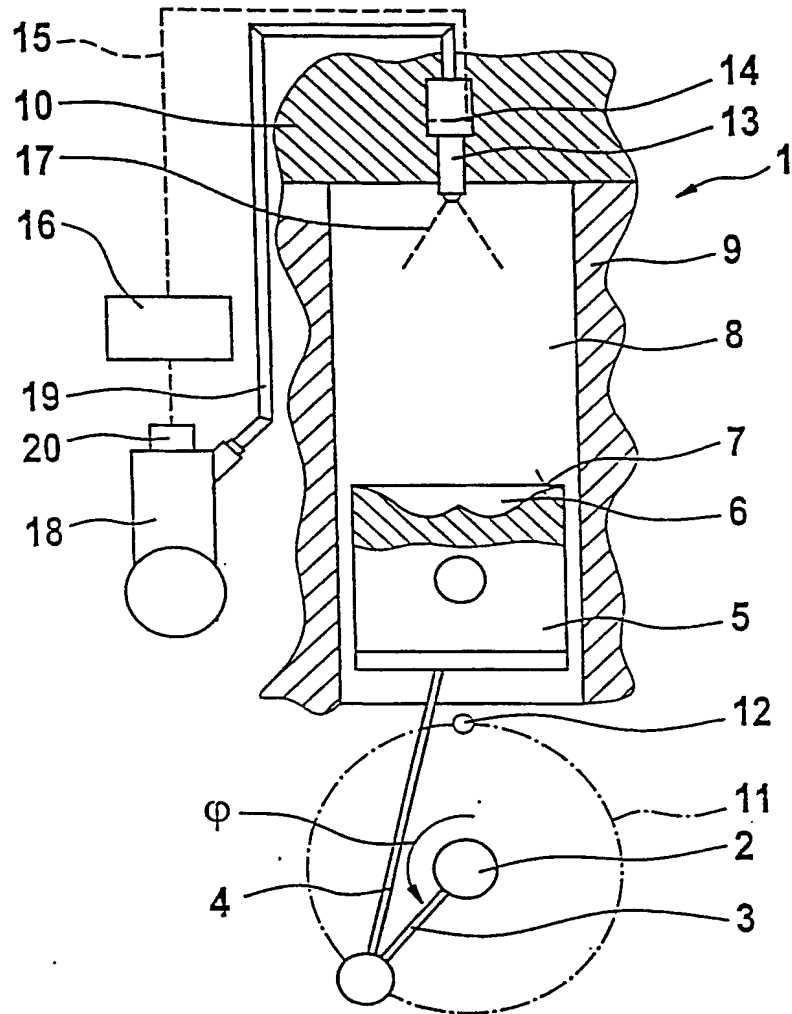


Fig. 1

2/5

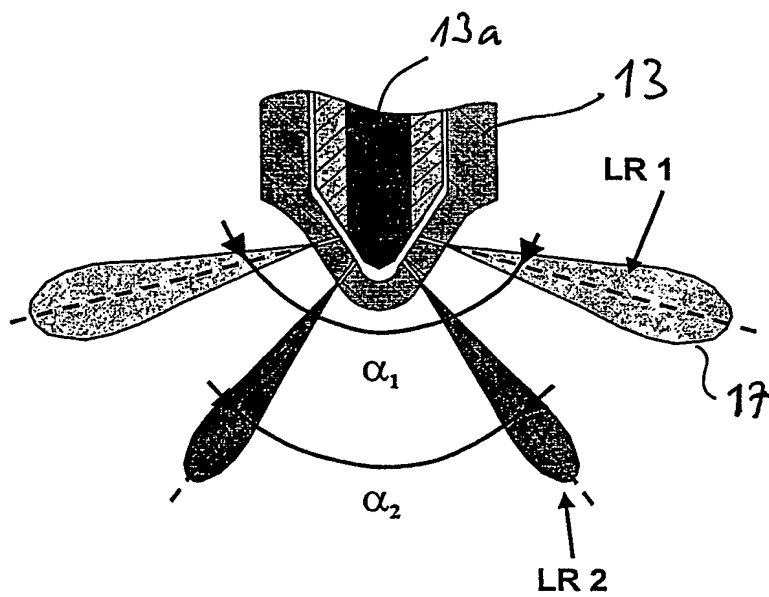


Fig. 2

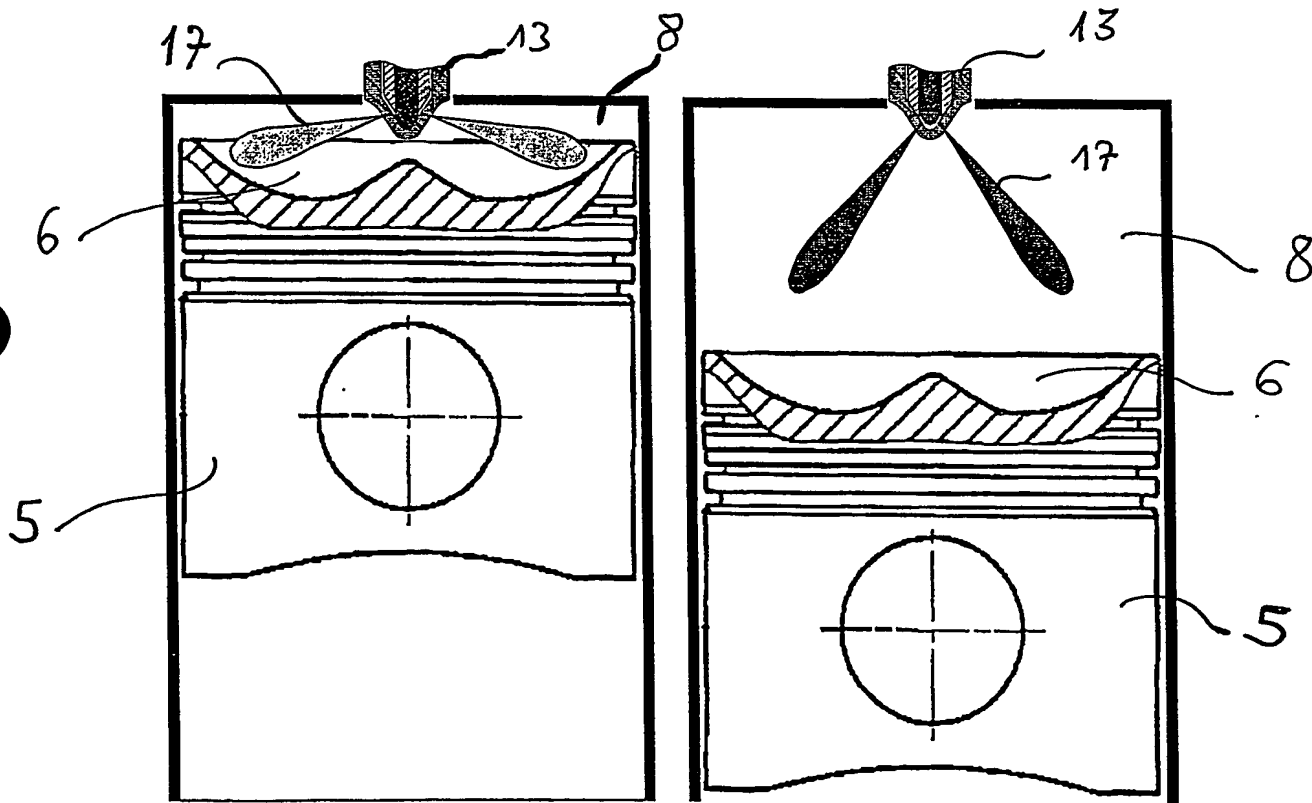


Fig. 3

3/5

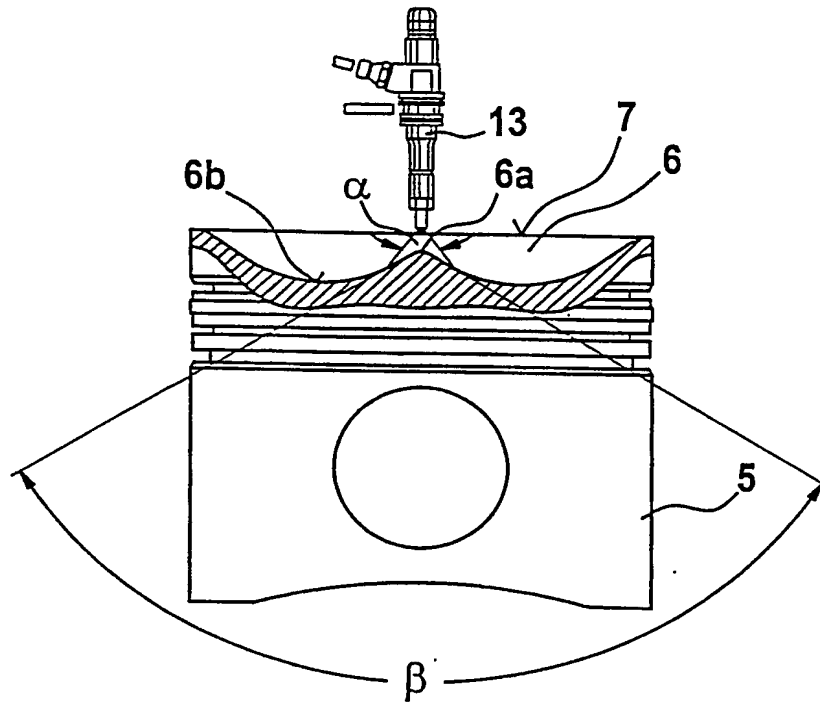


Fig. 4

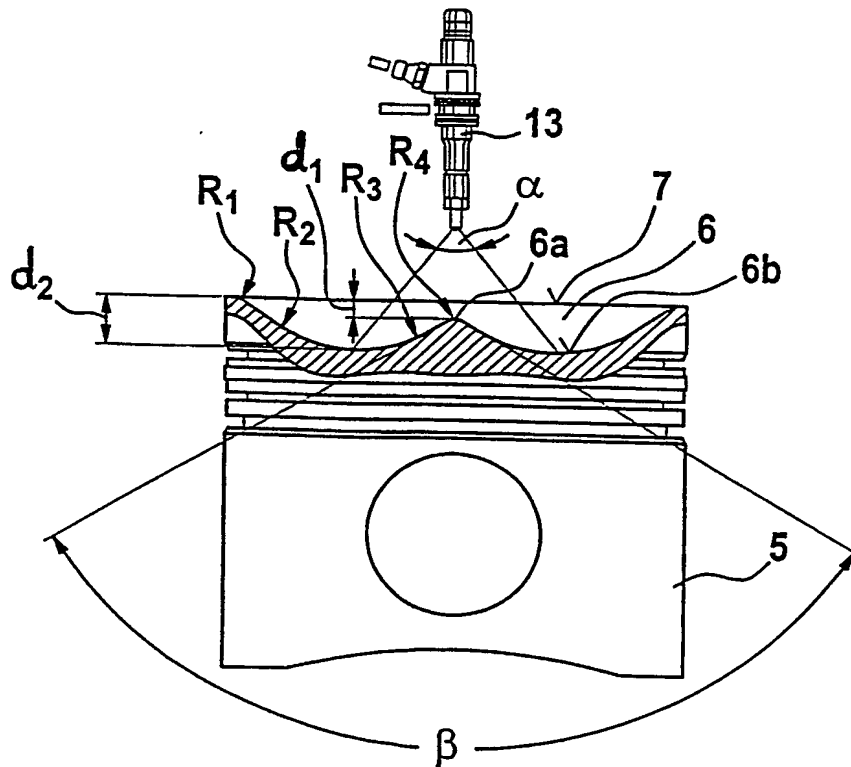


Fig. 5



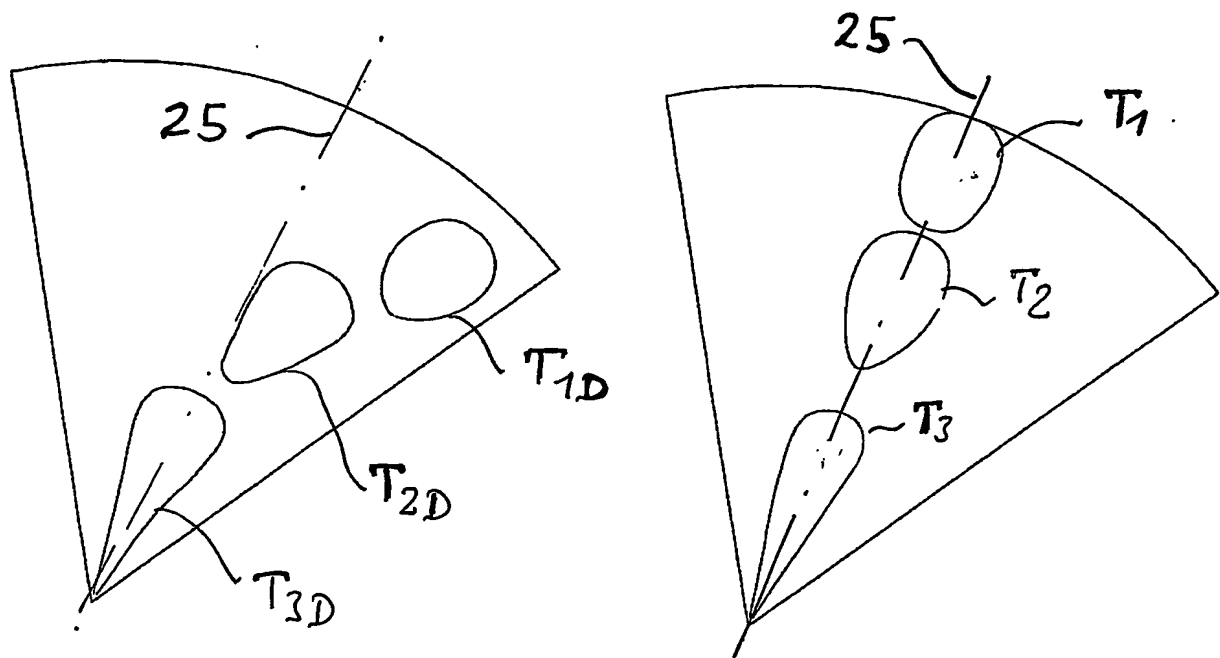


Fig. 6

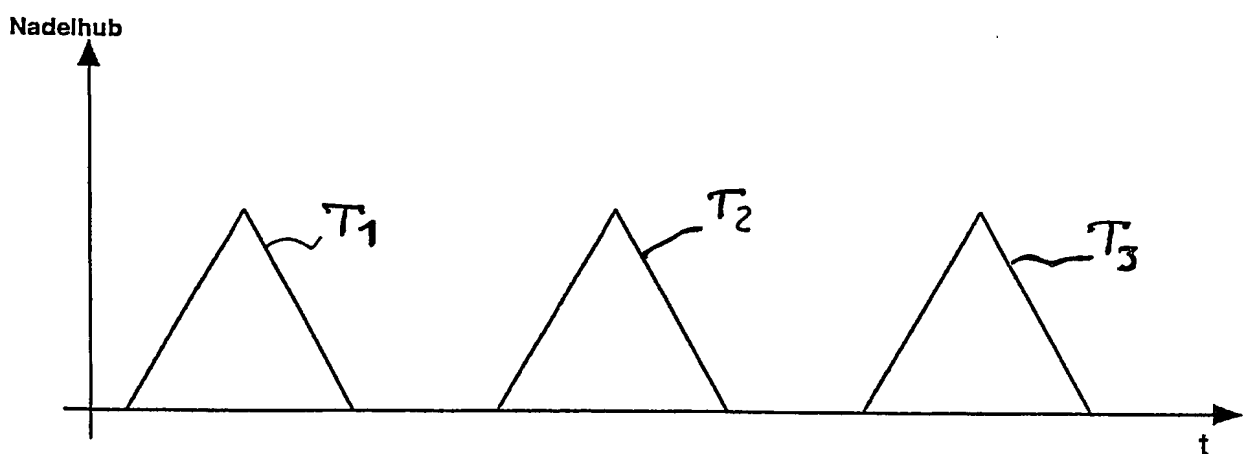


Fig. 7

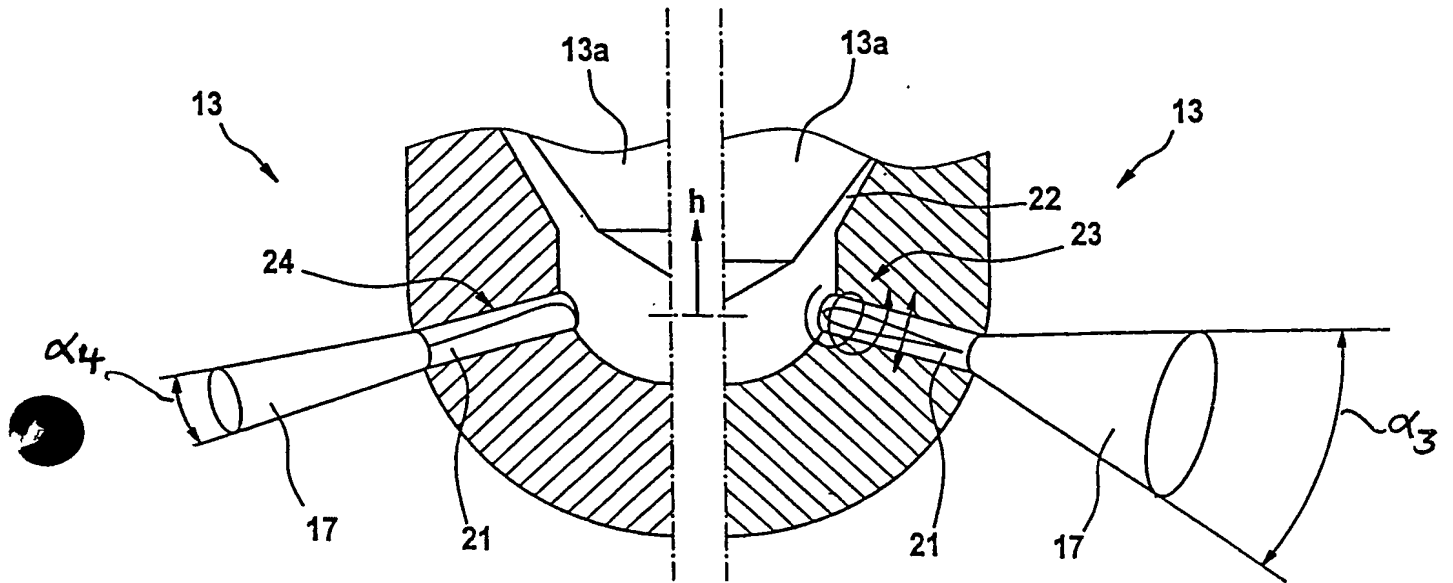


Fig. 8

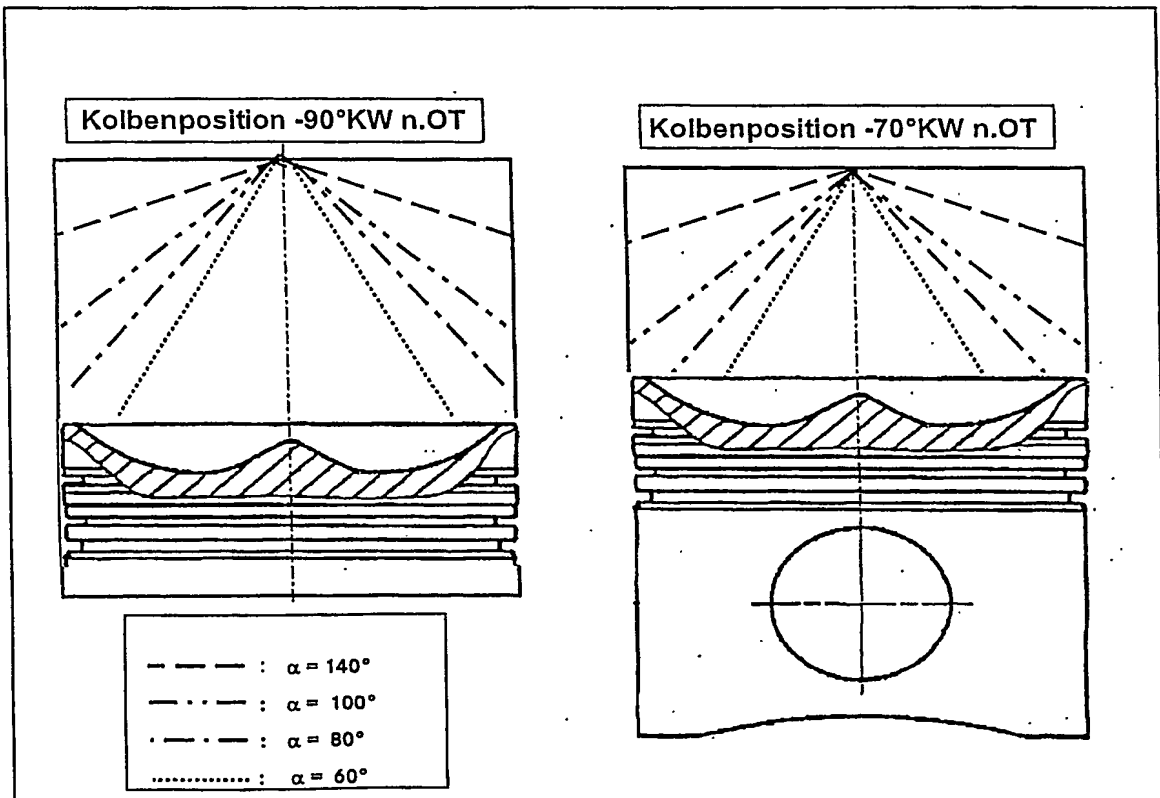


Fig. 9

DaimlerChrysler AG

Aifan

30.06.2003

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Brennkraftmaschine mit einer  
Steuereinheit (16), einem zwischen einem Kolben (5) und einem  
5 Zylinderkopf gebildeten Brennraum (8) und einer Kraftstoff-  
einspritzvorrichtung mit einer Einspritzdüse (13), welche ei-  
ne Düsennadel und mehrere Einspritzbohrungen aufweist, wobei  
mittels der Einspritzdüse Kraftstoff in Form mehrerer Kraft-  
stoffstrahlen (17) als eine Haupteinspritzung (HE), eine  
10 Nacheinspritzung (NE) und gegebenenfalls als eine Vorein-  
spritzung (VE) in den Brennraum (8) eingespritzt wird. Die  
Einspritzbohrungen der Einspritzdüse (13) sind in mindestens  
zwei unterschiedlichen, getrennt ansteuerbaren Lochreihen an-  
geordnet, wobei und ein Betriebshub der Düsennadel mittels  
15 der Steuereinheit in Abhängigkeit von einer Kolbenstellung  
( $\phi$ ) und/oder von einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine  
(1) einstellbar ist und die Lochreihen der Einspritzdüse (13)  
unterschiedliche Spritzlochkegelwinkel aufweisen.

20 Fig. 1

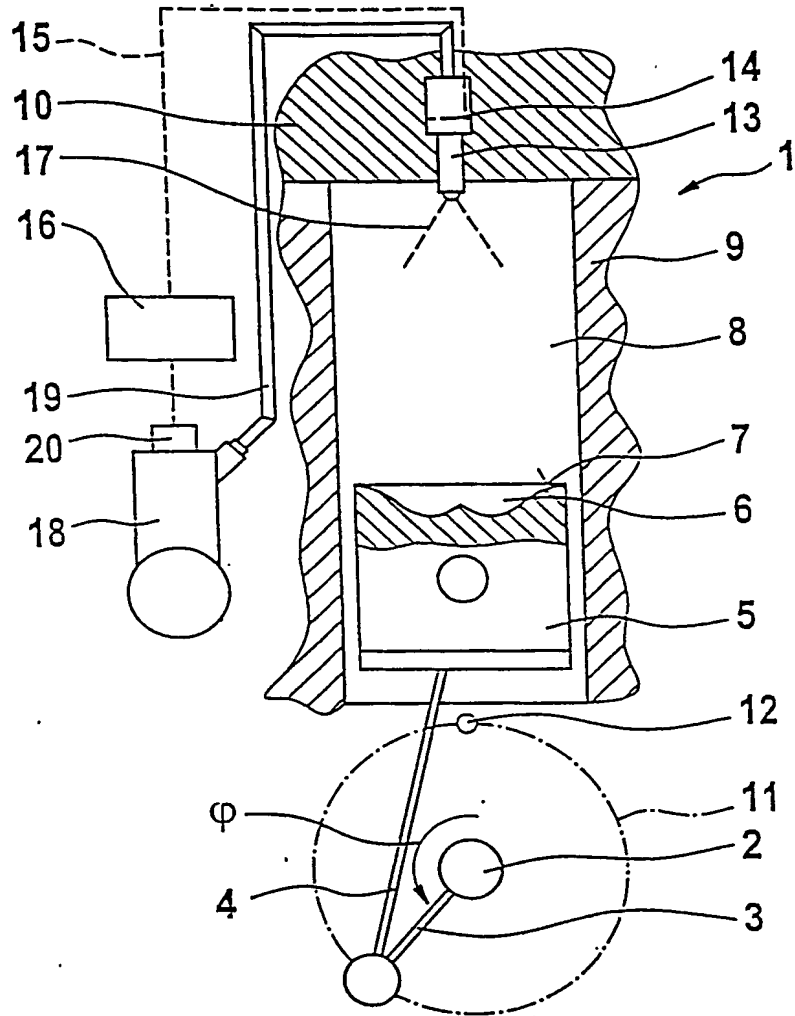


Fig. 1

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**